Journal of Water and Soil
Homepage: https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 6, Feb.-Mar., 2024, p. 855-869

Application of TOPSIS Method in the Investigation of River Water Quality (Case Study: Aji Chai River)

N. Jafari[1*], Y. Dinpashoh[2]

1 and 2- Ph.D. Student and Professor, Department of Water, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: NedaJafari@tabrizu.ac.ir)

Received: 23-10-2023 Revised: 10-12-2023 Accepted: 12-12-2023 Available Online: 12-12-2023	**How to cite this article:** Jafari, N., & Dinpashoh, Y. (2024). Application of TOPSIS method in the investigation of river water quality (Case study: Aji Chai River). *Journal of Water and Soil, 37*(6), 855-869. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2023.84882.1344

Introduction

The study of surface water quality control in water resources and environment management programs is very important. Surface water is one of the most important water sources that have crucial impact on agricultural, industrial, drinking and electricity production activities. Due to insufficient water sources with good quality and the increase in population growth rate and as a result of the increase in demand, the study of water quality parameters is very important. The Water Quality Index (WQI) serves as a prominent indicator in classifying surface water quality. Moreover, in recent years, the TOPSIS method has gained traction for evaluating water quality. This approach, known for its simplicity, is increasingly utilized in prioritizing river water and assessing its quality. Through this index, various components of water quality are condensed into a single numerical value, effectively expressing overall water quality. To ascertain the weight index, Shannon's entropy method was employed. Furthermore, to assess water suitability for drinking, agriculture, and industrial purposes, Schuler, Wilcox, and Piper diagrams were utilized. These diagrams provide valuable insights into the quality of water, aiding in decision-making processes regarding its utilization across different sectors. Therefore, the results of this study also confirmed the effectiveness of the TOPSIS method in identifying contaminated stations.

Materials and Methods

This research focuses on evaluating the water quality of three stations within the Aji Chai river watershed on an annual basis. These stations are identified as Arzanag, Akhola, and Markid. The assessment spans the years 2003 to 2021 and aims to classify water quality for both drinking and agricultural purposes. Utilizing the standards set forth by the World Health Organization, the surface water quality index of the Aji Chai basin is investigated to ascertain its suitability for drinking purposes. Shannon's entropy theory was used to prevent expert judgments in determining the weight of each parameter. TOPSIS method was used to classify eleven qualities including TDS, EC, pH, HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+ and TH. In all the three stations water quality were ranked, based on TOPSIS numerical values. Also, in order to check the quality of drinking, agricultural and industrial water, Schuler, Wilcox and Piper diagrams were used.

Results and Discussion

The initial findings from the %RE error analysis revealed that throughout the entire statistical period (2003-2021), the %RE values were consistently close to zero, with the majority being positive. This suggests that the total number of cations surpasses the total number. In terms of the Shannon water quality index, the results indicate that Markid

https://doi.org/10.22067/jsw.2023.84882.1344

station exhibited the highest index value at 945.92, while Arzanag station displayed the lowest value at 127.365 among the surveyed stations. The results of the water quality index showed that Arzanag and Akhola stations are in an average condition (100 < EWQI < 150) and Markid station is in a very poor condition (EWQI > 200). According to Schuler's diagram, it was found that the water of Arzanag station is in the average level in terms of water quality, which is in a good position in terms of quality compared to the other two stations, while the water of Akhola station is in a good position. In the range of poor quality, Markid water was undrinkable, which ranked worst among the three stations. According to the Wilcox diagram, it was found that the water quality of Markid is very poor, which is even outside the boundary of the Wilcox diagram, while the water of Arzanag station was ranked 1st in terms of quality. Arzanag water is in C_4S_2 class in terms of quality. Finally, the water class of Akhola station was placed in the C_4S_4 class (in the Wilcox chart), which shows very low water quality. According to the TOPSIS method, the first priority in terms of water quality pollution belonged to Markid station. Two other stations, including Akhola and Arzanag, were ranked second and third in this respect. Therefore, the most important station in this basin is Markid station.

Conclusion

The results of Shannon water quality index showed that among the stations, the highest index value is related to Markid station with a value of 945.92 and the lowest one is related to Arzanag station with a value of 127.365. According to Schoeller diagram, it was found that the water quality of Arzanag station is average, compared to the other two stations, it was in the right place and the water of Akhola station was in the range of poor quality. The quality of Markid water was found to be undrinkable, which was the worst one among all the three stations. The range of TOPSIS values in different stations is between 0.054 and 0.894, which belonged to the Arzanag and Markid stations, respective ly. According to the results of the Arzanag station, the best water quality condition and the Markid station were assigned the worst water quality condition among all the three stations.

Keywords: Entropy, Piper, Water quality index, Water quality rating, Wilcox

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۷، شماره ۶، بهمن-اسفند ۱۴۰۲، ص. ۸۶۹-۸۵۵

کاربرد روش تاپسیس در بررسی کیفیت آب رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه آجی‌چای)

ندا جعفری [1*] - یعقوب دین‌پژوه [2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۱

چکیده

مطالعه کیفیت آب‌های سطحی در برنامه‌های مدیریت منابع آب و محیط‌زیست از اهمیت بسزائی برخوردار است. در این تحقیق کیفیت آب حوضه آبریز آجی‌چای در مقیاس سالانه ارزیابی شد، برای این منظور، ۳ ایستگاه شامل ارزنق، آخولا و مرکید، انتخاب و داده‌های کیفیت آب طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۲ جهت طبقه‌بندی کیفیت آب برای مصارف شرب و کشاورزی مورد استفاده واقع شد. جهت بررسی شاخص کیفیت آب سطحی حوضه آجی چای از نظر شرب کیفیت آب با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی مقایسه شد. به‌منظور جلوگیری از قضاوت‌های کارشناسی در تعیین وزن هر یک از پارامترها، از تئوری آنتروپی شانون استفاده شد. از روش تاپسیس به‌منظور طبقه‌بندی یازده پارامتر کیفی استفاده شد. این روش ساده و پرکاربرد بوده و در اولویت‌بندی آب رودخانه‌ها و ارزیابی کیفی آن‌ها استفاده می‌شود. نتایج شاخص کیفیت آب شانون نشان داد که در بین ایستگاه‌ها، بیشترین مقدار شاخص مربوط به ایستگاه مرکید با مقدار ۹۴۵/۹۲ و کمترین آن مربوط به ایستگاه ارزنق با مقدار ۱۲۷/۳۶ می‌باشد. براساس دیاگرام شولر معلوم شد که آب ایستگاه ارزنق از نظر کیفیت آب در حد متوسط بوده که در مقایسه با دو ایستگاه دیگر از نظر کیفی در جایگاه مناسب و آب ایستگاه آخولا در محدوده کیفیت نامناسب قرار دارد. کیفیت آب مرکید غیرقابل شرب تشخیص داده شد که در بین سه ایستگاه بدترین جایگاه را به خود اختصاص داد. دامنه مقادیر تاپسیس در ایستگاه‌های مختلف بین ۰/۰۵۴ و ۰/۸۹۴ بوده که به‌ترتیب متعلق به ایستگاه‌های ارزنق و مرکید می‌باشد. براساس نتایج ایستگاه ارزنق بهترین وضعیت کیفی آب و ایستگاه مرکید نامناسب‌ترین وضعیت کیفی آب را در بین سه ایستگاه به خود، اختصاص دادند.

واژه‌های کلیدی: آنتروپی، پایپر، رتبه‌بندی کیفیت آب، شاخص کیفیت آب، ویلکاکس

مقدمه

آب‌های سطحی جاری در رودخانه‌ها از مهم‌ترین منابع آب شیرین هستند که نسبت به تغییر فرآیندهای طبیعی مانند بارندگی، دما، پوشش جنگلی و تغییرات آب و هوایی بسیار حساس هستند (Khan *et al.*, 2023). همچنین آب‌های سطحی تأثیر مهمی در فعالیت‌های کشاورزی، صنعت، شرب و تولید برق دارند. با توجه به کمبود منابع آب با کیفیت مناسب و افزایش جمعیت و در نتیجه افزایش تقاضا، مطالعه کیفیت پارامترهای کیفی آب از اهمیت زیادی برخوردار است (Rouhani *et al.*, 2015). شاخص کیفیت آب یکی از شاخص‌های پرکاربرد در طبقه‌بندی کیفیت آب‌های سطحی است (Sohrabizadeh *et al.*, 2018). استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM[3]) از پرطرفدارترین رویکردهای حل مسائل کیفی آب است. همچنین روش تاپسیس[4] به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در سال‌های اخیر به‌طور فزاینده‌ای جهت ارزیابی کیفیت آب مورد استفاده قرار گرفته است. روش تاپسیس قادر است گزینه مناسب را از بین تعداد کثیری گزینه‌های کاندیدا با استفاده از فاصله انتخاب کند طوری‌که گزینه‌ای که بیشترین فاصله از ایده‌آل منفی و کمترین

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استاد، گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: NedaJafari@tabrizu.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jsw.2023.84882.1344

3- Multiple Criteria Decision Making
4- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (Topsis)

فاصله از ایده‌آل مثبت را دارد به‌عنوان گزینه بهینه قلمداد می‌کند. روش تاپسیس، نسبت به دیگر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند (MCDM) دارای مزایایی مانند داشتن پایه و اساس ریاضی مناسب، داشتن مفهوم منطقی و قابلیت درک آسان آن است (Galik *et al.*, 2022). این رویکرد به تصمیم گیرنده اجازه مقایسه گزینه‌های مختلف را به‌طور مؤثر در اختیار قرار می‌دهد تا بتواند مناسب‌ترین و امیدوارکننده ترین راه حل(ها) را از بین تعداد زیادی راه‌حل‌ها شناسایی کند (Behzadian *et al.*, 2012; Srdjevic *et al.*, 2004). لی و همکاران (Li *et al.*, 2012) به‌منظور بهبود سیستم ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در شهر شیزویشان[1] واقع در شمال‌غرب چین از یک مدل ارزیابی جفت شده جدید مبتنی بر کاهش ویژگی مجموعه ناهنجار و روش شباهت به راه‌حل ایده‌آل (تاپسیس) استفاده کردند. بنا به گزارش آنان، با ارزیابی جامع معلوم شد که همه نمونه‌های آب برای مصارف شرب مناسب بودند. امیری و همکاران (Amiri *et al.*, 2014) کیفیت آب زیرزمینی و مناسب بودن آن برای شرب در سفره آب دشت لنجانات ایران مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها برای این منظور از شاخص کیفیت آب وزن‌دار آنتروپی (EWQI) برای نمونه‌های آب زیرزمینی استفاده کردند. فلاح و همکاران (Fallah *et al.*, 2018)، به‌منظور ارزیابی وضعیت کیفیت آب، پارامترهای اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، اکسیژن محلول، دمای آب، اسیدیته، کدورت، کل مواد جامد محلول، فسفات، نیترات و کلیفرم مدفوعی در تالاب بین‌المللی انزلی به صورت فصلی در ۱۰ ایستگاه را در سال ۱۳۹۳ بررسی کردند و وضعیت کیفیت آب را به‌وسیله روش تاپسیس ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش تاپسیس در بررسی تغییرات کیفی منابع آب موفق بوده است. براین اساس مشخص شد که تالاب بین‌المللی انزلی دارای کیفیت آب متوسط است. اسدی و بیات (Asadi & Bayat, 2019) به‌منظور ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان از روش‌های EWQI و تاپسیس استفاده کردند. نتایج نشان داد که کلر، مؤثرترین پارامتری است که کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ایشان گزارش دادند که ایستگاه ینگجه به‌عنوان ایستگاه با کیفیت آب عالی و ایستگاه کوشکن به‌عنوان ایستگاه با کیفیت آب نامطلوب می‌باشد. میربلوکی و همکاران (Mirbolooki *et al.*, 2021) به‌منظور بررسی کیفیت آب سدهای انحرافی از روش‌های آنتروپی شانون و تاپسیس بهره گرفتند. نتایج آنتروپی شانون نشان داد که بیشترین وزن مربوط به مواد معلق در آب (TSS) با مقدار ۰/۱۹۷ و کمترین آن مربوط به pH با مقدار صفر می‌باشد. نتایج آزمون تاپسیس نشان داد که براساس وزن‌های برگرفته از آنتروپی و شاخص‌های کیفیت آب، سدهای پسیخان، پلرود و شاخزر در رتبه‌های اول تا سوم و سد تاریک در رتبه آخر قرار دارد. فاطیما و همکاران (Fatima *et al.*, 2022) کیفیت آب شرب دره باشو[2] در منطقه اسکاردو[3] در بریتانیا را بررسی‌کردند. آن‌ها برای این منظور از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و شاخص کیفیت آب (WQI) استفاده کردند. همچنین به‌منظور پهنه‌بندی منطقه از روش وزن فاصله معکوس (IDW) استفاده‌کردند. نتایج حاصل براساس WQI، PCA و IDW نشان داد که منابع اصلی آلودگی به احتمال زیاد، فعالیت‌های انسانی از جمله تخلیه آلاینده‌ها از بخش‌های بالادست می‌باشد. سیپی و پارمار (Sippi & Parmar, 2022) از روش تاپسیس برای رتبه‌بندی ۴۶۸ ایستگاه هیدرومتری در ۱۹ ایالت هند از هشت پارامتر کیفیت آب شامل اکسیژن محلول (DO)، دما، هدایت، pH، نیاز بیوشیمیایی اکسیژن (BOD)، نیترات (NO_3^-)، کلیفرم مدفوعی (FC) و کلیفرم کل (TC) استفاده کردند. نتایج نشان داد که بهترین گزینه‌ها گزینه‌هایی با DO بالا، BOD پایین و FC و TC پایین بودند، ضمنا معلوم شد که بدترین گزینه‌ها، گزینه‌هایی با سطوح بسیار بالای BOD، FC و TC بودند.

بوشان و همکاران (Bhushan *et al.*, 2023) کیفیت آب در بخش کشاورزی برای زیرحوضه بادوا– چاندان[4] در هند را ارزیابی کردند. نتایج تحلیل نمونه‌های مورد مطالعه، بر اساس نمودار پایپر نشان داد که تمام نمونه‌ها متعلق به آب از نوع $Ca^{+} > Mg^{2+} > HCO_3^-$ هستند. همچنین نتایج نمودار ویلکاکس نشان داد که ۲۳ درصد نمونه‌ها در رده عالی تا خوب و ۸۴/۵۳ درصد از نمونه‌ها در رده خوب تا مجاز قرار گرفتند که ۷۶ درصد از نمونه‌ها برای مصارف کشاورزی استفاده می‌شود. بااین حال، در نمودار آزمایشگاهی شوری ایالات متحده، ۷۷ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی در دسته $C_3 S_1$ قرار گرفتند که نشان دهنده شوری بالا و خطر سدیم کم برای اهداف آبیاری می‌باشد. مانو و همکاران (Manu *et al.*, 2023) کیفیت آب سطحی و زیرزمینی را برای حوضه پرا[5] (غنا) در ۹۰ نمونه به‌منظور اهداف شرب و کشاورزی بررسی کردند. ارزیابی کیفیت آب با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI) نشان داد که ۷۴ درصد از آب‌های سطحی و ۲۰ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی کیفیت شرب پایینی دارند و بنابراین، نمی‌توان از آن‌ها برای مصارف شرب استفاده کرد. برای آبیاری، آب‌های سطحی و زیرزمینی براساس نسبت جذب سدیم (SAR)، نمودار Wilcox و شاخص‌های شوری ایالات متحده (USSL) کیفیت خوبی دارند. هرچند روش تاپسیس در مطالعات مختلف بکار گرفته شده است ولی به‌نظر می‌رسد تاکنون در رتبه‌بندی ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آبریز آجی‌چای از نظر کیفیت آب کار نشده است. بنابراین اهداف اصلی این

1- Shizuchina
2- Basho
3- Skardu
4- Badua-Chandan
5- Pra

مطالعه عبارتنداز ۱- محاسبه شاخص کیفیت آب برای ایستگاه‌های منتخب حوضه آبریز آجی‌چای ۲- طبقه‌بندی آب ایستگاه‌ها از نظر مصارف شرب و کشاورزی و ۳- رتبه‌بندی ایستگاه‌های منتخب از نظر کیفیت آب با استفاده از روش تاپسیس.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز آجی‌چای واقع در شمال‌غرب ایران است که به‌عنوان یکی از زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه واقع در شرق آن است. این حوضه به لحاظ موقعیت جغرافیایی بین عرض‌های "۳۰ ′۴۲ °۳۷ تا"۳۰ ′۳۰ °۳۸ شمالی و طول‌های "۳۰′۴۰ °۴۵ تا"۳۰′۵۳ °۴۷ شرقی واقع شده است. این حوضه از ارتفاعات کوه سبلان تا غرب آذرشهر گسترش یافته و همه آب‌های جاری از انشعابات مختلف آن در رودخانه آجی‌چای جمع‌آوری و در نهایت به دریاچه ارومیه می‌ریزد (Sanikhani *et al*., 2014). شهرهای سراب، تبریز، بستان آباد در این حوضه واقع هستند. حوضه آبریز آجی‌چای یکی از مهم‌ترین زیرحوضه‌های هفت‌گانه حوضه آبریز دریاچه ارومیه بعد از زیرحوضه‌ی سیمینه رود و زرینه رود با وسعتی معادل ۱۱۲۷۸/۸ کیلومتر مربع است. از انشعابات این رودخانه می‌توان به رودخانه‌های لیقوان، سنیخ‌چای، تاجیار، نهند و اوجان‌چای اشاره کرد. دمای متوسط سالانه این حوضه حدود ۱۱/۳درجه سیلیسیوس و متوسط بارش سالانه برابر با ۳۲۰ میلی‌متر می‌باشد (Isazadeh *et al*., 2023). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز آجی‌چای را نشان می‌دهد.

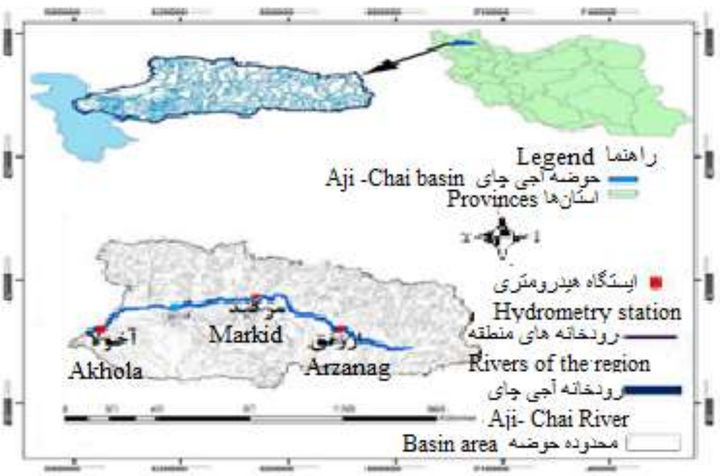
داده های مورد استفاده

در این مطالعه پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز مرتبط با کیفیت آب حوضه آبریز آجی‌چای، از جمله داده‌های مربوط به پارامترهای TDS، EC، pH، HCO_3، Cl^-، SO_4^{2-}، Ca^{2+}، Mg^{2+}، Na^+، K^+ و TH همچنین داده‌های مربوط به دبی و دما (برای رسم دیاگرام شولر منحصرا به‌عنوان ورودی برنامه Chemisty استفاده شد)، برای تحلیل کیفیت آب منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. داده‌ها از شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌شرقی اخذ شد، دوره آماری مورد مطالعه در این پژوهش ۱۴۰۰-۱۳۸۲ می‌باشد. ایستگاه‌های ارزنق، آخولا و مرکید در این مطالعه انتخاب شدند جهت بازسازی داده مفقود از میانگین سال‌های ماقبل و مابعد استفاده شد. آمار مربوط به سال ۱۳۹۷ برای هر سه ایستگاه دردسترس نبود. این واقعیت موجب شد که ۵/۲۶ درصد داده گمشده داشته باشیم. هرچند بازسازی داده‌ها می‌تواند روی نتایج تاحدودی اثرگذار باشد ولیکن میزان تأثیر آن با توجه به درصد پایین داده‌های گم شده ناچیز به نظر می‌رسد.

روش‌های مورد استفاده

قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها، کنترل کیفی داده‌ها با محاسبه درصد خطای تعادل یونی یا خطای بیلان بار (RE) به شرح زیر به انجام رسید (Derdour *et al*.,2020 ; Aouiti *et al*., 2021):

$$\%RE = \frac{\sum Cations - \sum Anions}{\sum Cations + \sum Anions} \times 100 \qquad (۱)$$



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز آجی‌چای

Figure 1-Geographical location of Aji-Chai basin

اگر مقدار RE (بر حسب درصد) بین ۱- و ۱+ باشد، دقت تحلیل عالی ارزیابی می‌شود ولی اگر مقدار RE بر حسب درصد بین ۵- و ۵+ باشد دقت قابل قبول و اگر بین ۱۵- و ۱۵+ باشد دقت تحلیل ضعیف ارزیابی می‌شود (Derdour *et al*., 2020). پس از کنترل کیفیت داده‌ها شاخص کیفیت آب به شرح زیر بررسی گردید:

شاخص کیفیت آب آنتروپی

در طی فرآیند محاسبه شاخص کیفیت آب، وزن هر پارامتر معمولاً توسط کارشناسان با توجه به تجربه عملی آنها ارائه می‌شود که ذهنی است، بنابراین، اطلاعات مفید و ارزشمندی در مورد کیفیت آب از بین می‌رود. به‌منظور اجتناب از قضاوت شخصی در مورد وزن پارامترها، از روش آنتروپی شانون برای تخصیص وزن به هر پارامتر استفاده می‌شود (Amiri *et al*., 2014).

وزن‌دهی به شاخص‌ها با روش آنتروپی شانون

روش آنتروپی در سال ۱۹۷۲ به وسیله شانون و ویور[1] معرفی شد. در این روش هرچه میزان پراکندگی در مقدار یک شاخص مشخص بیشتر باشد آن شاخص دارای اهمیت بیشتری است (Shannon, 1988). مراحل اصلی استفاده از روش ضریب آنتروپی برای تعیین وزن ها به صورت زیر است: برای محاسبه وزن آنتروپی اگر m نمونه آب (i=1, 2, …, m) با n پارامتر کیفی (j=1,2,…, n) برای ارزیابی کیفیت آب در نظر گرفته شود ابتدا ماتریس X به صورت زیر در نظر گرفته شد (Jafari, 2019 ; Awasthi *et al*., 2023):

$$\mathbf{X}=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (۲)$$

برای از بین بردن تأثیر واحدهای مختلف شاخص‌های مشخصه و درجه‌های کمیت متفاوت کیفیت، داده‌ها بشرح رابطه (۳) نرمال‌سازی شدند. برای این کار، ماتریس X با رابطه (۳) به ماتریس Y که درایه های آن با y_{ij} نشان داده می‌شوند، تبدیل شد:

$$y_{ij}=\frac{x_{ij}-(x_{ij})_{min}}{(x_{ij})_{max}-(x_{ij})_{min}} \quad (۳)$$

ماتریس Y پس از نرمال‌سازی به صورت زیر تعریف شد:

$$\mathbf{Y}=\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (۴)$$

که در آن m تعداد نمونه‌های آب (معادل تعداد سال‌های نمونه برداری) و n تعداد پارامترهای کیفی آب است. سپس نسبت مقدار شاخص پارامتر jام در نمونه iام که با P_{ij} نشان داده می‌شود از رابطه (۵) محاسبه شد:

$$P_{ij}=\frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} y_{ij}} \quad (۵)$$

آنتروپی اطلاعات با e_j نشان داده می‌شودکه از رابطه زیر برآورد شد:

$$e_j=-\sum_{i=1}^{m} P_{ij} \ln P_{ij} \frac{1}{\ln(m)} \quad (۶)$$

هر چه مقدار e_j کوچکتر باشد، تأثیر شاخص j بیشتر است (Shannon, 1988). سپس وزن پارامتر jام آنتروپی که با w_j نشان داده می‌شود از رابطه زیر تخمین زده شد (Ukah *et al*., 2020):

$$w_j=\frac{(1-e_j)}{\sum_{j=1}^{n}(1-e_j)} \quad (۷)$$

که در آن، w_j به‌عنوان وزن پارامتر کیفی jام و n تعداد کل پارامترهای کیفی مورد مطالعه می‌باشد. در نهایت، شاخص کیفیت آب آنتروپی به‌صورت زیر محاسبه گردید. مقیاس درجه‌بندی کیفیت (q_j) برای پارامتر کیفی jام به‌صورت زیر تعریف شد:

$$q_j=\frac{c_j}{s_j}\times 100 \quad (۸)$$

در این رابطه، c_j غلظت پارامتر کیفی jام در هر نمونه آب (برحسب میلی‌گرم بر لیتر) و s_j غلظت استاندارد جهانی همان پارامتر برای کیفیت آب آشامیدنی (برحسب میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد (WHO, 2011). در نهایت، شاخص EWQI از فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{EWQI}=\sum_{j=1}^{n} w_j q_j \quad (۹)$$

جدول ۱ طبقه‌بندی کیفی آب را با استفاده از شاخص کیفی EWQI نشان می‌دهد.

روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس

هدف از این روش رتبه‌بندی ایستگاه‌های آب‌سنجی از نظر کیفیت آب است. این تکنیک توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ ارائه شد (Hwang & Yoon, 1981). در روش رتبه‌بندی به روش تاپسیس ابتدا یک مقدار ماکزیمم یا مینیمم برای شاخص‌های استاندارد شده وزن دار در نظر گرفته می‌شود. سپس فاصله هر گزینه از نقطه ایده‌آل و نقطه ایده‌آل منفی بدست می‌آید. بهترین گزینه، گزینه‌ای است که کمترین فاصله از نقطه ایده‌آل و بیشترین فاصله را از نقطه ایده‌آل منفی داشته باشد (Ortega *et al*., 2018 ؛Jafari, 2019). برای انجام روش تاپسیس مراحل زیر در نظر گرفته شد:

۱- تشکیل ماتریس داده‌های کیفی

1- Shannon and Weaver

جدول ۱- طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص کیفی (Zhang *et al.*, 2020)

Table 1- Qualification of water quality based on quality index (Zhang *et al.*, 2020)

مقدار شاخص Index value	50>	50-100	100-150	150-200	200<
رتبه Rank	1	2	3	4	5
کیفیت آب Water quality	عالی Excellent	خوب Good	متوسط Medium	ضعیف Poor	بشدت ضعیف Extremely poor

در این مطالعه داده‌های کیفیت آب در یک ماتریس بنام A بشرح زیر در نظر گرفته شد:

$$A=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (۱۰)$$

که در آن a_{ij} متغیر کیفی jام در سال iام، اندیس i شماره سال (بسته به هر ایستگاه متفاوت است) و j شماره متغیر کیفی آب رودخانه (از یک تا ۱۱ در این مطالعه) است. ضمناً m تعداد سال‌ها و n تعداد متغیرهای کیفی آب است.

۲- استاندارد نمودن درایه‌های ماتریس A:

با استفاده از رابطه زیر درایه‌های ماتریس A استاندارد شدند.

$$r_{ij}=\frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} {a_{ij}}^2}} \quad (۱۱)$$

ماتریس استاندارد شده با R نشان داده شد طوری‌که:

$$R=\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & a_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (۱۲)$$

۳- تعیین وزن هر پارامترکیفی آب رودخانه (w_i):

برای تعیین وزن هرکدام از پارامترهای کیفیت آب از شیوه آنتروپی شانون که قبلاً شرح داده شد، استفاده گردید.

پس از تعیین وزن هر پارامتر که با نماد W نشان داده می‌شود، ماتریس جدیدی بنام V بشرح زیر تشکیل داده شد:

۴- درایه‌های ماتریس جدید V به شرح زیر در نظر گرفته شدند (Zarei *et al.*, 2011):

$$V_{ij}=R_{ij}.w_{n\times m} \quad (۱۳)$$

$$V_{ij}=\begin{bmatrix} w_1r_{11} & w_2r_{12} & \cdots & w_nr_{1n} \\ w_1r_{21} & w_2r_{22} & \cdots & w_nr_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1r_{m1} & w_2r_{m2} & \cdots & w_nr_{mn} \end{bmatrix} \quad (۱۴)$$

۵- تعیین ایده‌آل‌های مثبت و منفی (بالاترین و پایین‌ترین عملکرد در هر شاخص)

$$A^{+}=\{(\max Vij|j\epsilon J).(\min Vij|j\epsilon J')i=1,2,...,m\}=\{V_1^{+},V_2^{+},V_3^{+}\ldots,V_4^{+}\ldots,V_n^{+}\} \quad (۱۵)$$

$$A^{-}=\{(\min Vij|j\epsilon J).(\max Vij|j\epsilon J')i=1,2,...,m\}=\{V_1^{-},V_2^{-},V_3^{-}\ldots,V_4^{-}\ldots,V_n^{-}\} \quad (۱۶)$$

۶- محاسبه اندازه فاصله گزینه iام بر اساس نرم اقلیدوسی از ایده‌آل‌ها مثبت و منفی (Meshram *et al.*, 2020):

$$di^{+}=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(vij-vj^{+})^2} \quad \forall i=1,2,\ldots,m \quad (۱۷)$$

$$di^{-}=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(vij-vj^{-})^2} \quad \forall i=1,2,\ldots,m \quad (۱۸)$$

۷- تعیین ضریب نزدیکی نسبی گزینه iام (C_i) به راه حل ایده آل.

$$ci^{+}=\frac{di^{-}}{di^{-}+di^{+}} \quad (۱۹)$$

که در آن:

di^{+} بیشترین فاصله با نقطه ایده‌آل مثبت، di^{-} کمترین فاصله با نقطه ایده‌آل منفی، vj^{+} مقدار بیشینه برای شاخص‌های استاندارد وزن دار، vj^{-} مقدار کمینه برای شاخص‌های استاندارد وزن‌دار می‌باشد.

بررسی کیفیت آب جهت مصارف شرب و کشاورزی

نمودار شولر

نمودار شولر یک نمودار نیمه لگاریتمی از غلظت اجزای اصلی یونی در آب (Mg^{2+}, Ca^{2+}, Na^{+}،SO_4^{2-}, HCO_3^{-}, Cl^{-}) است. این نمودار نیمه لگاریتمی که تجزیه و تحلیل یون‌های اصلی را بر حسب واحد meq/l نشان می‌دهد، انواع مختلف کیفیت شیمیایی آب را در یک نمودار نشان می‌دهد (Sarikhani *et al.*, 2015). از این نمودار برای مطالعه کیفیت آب ایستگاه‌های منتخب استفاده شد.

نمودار ویلکاکس

نمودار ویلکاکس با استفاده از پارامترهایی از جمله شوری و نسبت جذب سدیم برای ارزیابی آب برای مصارف کشاورزی استفاده می‌شود. شوری آب با EC و قلیائیت آن با SAR مشخص می‌شود. در این مطالعه، SAR از رابطه (۲۰) محاسبه شد (Alavi *et al.*, 2016).

$$SAR=\frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad (۲۰)$$

که در آن Na^{+}، Ca^{2+} و Mg^{2+} به‌ترتیب، غلظت پارامترهای سدیم، کلسیم و منیزیم می‌باشد. براساس مقادیر EC و SAR می‌توان کیفیت

آب را در دیاگرام ویلکاکس مشخص کرد. جدول ۲ طبقه‌بندی کیفیت آب را برای مصارف کشاورزی نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

جدول ۳ خلاصه نتایج بررسی خطای تعادل یونی را برای ایستگاه‌های منتخب در طی دوره آماری نشان می‌دهد. بطوری‌که از این جدول استنباط می‌شود، در هر سه ایستگاه، طی کل دوره آماری (۱۴۰۰-۱۳۸۲) مورد بررسی بین ۱- و ۱+ می‌باشد. حدود ۹۸/۲۴٪ نمونه‌ها RE بین ۱- و ۱+ داشتند. مقدار RE در سال ۱۳۸۲ برای ایستگاه آخولا بیشتر از ۱ بود (جدول ۳). این نتیجه نشان می‌دهد آزمایش شیمیایی نمونه‌ها در هر سه ایستگاه به درستی انجام شده است. درصد خطای ۵٪ در مطالعات قابل قبول گزارش شده است (Azish *et al.*, 2019)، بنابراین، براساس خطای تعادل یونی تقریباً، تمام نمونه‌های اندازه‌گیری شده از نظر دقت اندازه‌گیری مورد قبول می‌باشند.

جدول ۲- طبقه‌بندی آب جهت مصارف کشاورزی براساس نمودار ویلکاکس (Goudarzi *et al.*, 2022)

Table 2- Classification of water for agricultural purposes based on the Wilcox chart (Goudarzi et al., 2022)

طبقه بندی آب **Water category**	نوع کیفیت آب برای کشاورزی **Type of water quality for agriculture**
C_1S_1	آب شیرین، کاملاً بی ضرر برای کشاورزی Freshwater, completely harmless to agriculture
C_2S_1, C_2S_2, C_1S_2	کمی شور، تقریبا مناسب برای کشاورزی Slightly salty, almost suitable for agriculture
C_3S_3, C_3S_2, C_3S_1, C_2S_3, C_1S_3	آب شور، برای کشاورزی با تمهیدات لازم Saltwater, for agriculture with the necessary preparations
C_1S_4, C_2S_4, C_3S_4, C_4S_4, C_4S_2, C_4S_1	بسیار شور، مضر برای کشاورزی Very salty, harmful to agriculture

جدول ۳- نتایج بررسی درصد خطای تعادل یونی (%RE)

Table 3- The results of checking the percentage of ion balance error (%RE)

سال **Year**	ارزنق **Arzanag**	آخولا **Akhola**	مرکید **Markid**
1382 (2003)	0.102	-1.185	-0.0539
1383 (2004)	-0.001	-0.008	0.182
1384 (2005)	0.0258	0.017	0.009
1385 (2006)	0.031	0.010	0.017
1386 (2007)	0.013	0.002	0.000
1387 (2008)	0.009	-0.008	-0.433
1388 (2009)	0.015	0.008	0.006
1389 (2010)	0.020	-0.012	0.007
1390 (2011)	0.028	0.012	0.007
1391 (2012)	0.044	0.040	0.007
1392 (2013)	0.052	0.043	0.018
1393 (2014)	0.071	0.042	0.007
1394 (2015)	0.033	0.047	-0.002
1395 (2016)	0.038	0.050	0.003
1396 (2017)	0.052	0.047	0.006
1397 (2018)	0.062	0.030	0.021
1398 (2019)	0.048	0.023	0.004
1399 (2020)	0.014	0.027	0.000
1400 (2021)	0.045	0.027	0.008

جدول ٤- خلاصه آمار توصیفی برخی از پارامترهای مورد مطالعه و حد مطلوب WHO برای آب شرب

Table 4- Summary of descriptive statistics of studied parameters and WHO's optimal limit for drinking water

پارامتر Parameter	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Average	انحراف معیار Standard deviation	حد مطلوب WHO WHO optimal limit
TDS(mg/l)	1524.54	13762.94	6122.27	6662.52	100
EC(μmhos/cm)	2249.65	21179.14	9424.19	10250.22	1500
pH	7.79	7.86	7.83	0.036	8.5
HCO_3^-(mg/lit)	179.77	311.97	246.73	66.11	120
Cl^-(mg/l)	467.53	8432.73	3401.37	4377.31	250
SO_4^{2-}(mg/l)	276.04	892.72	491.04	348.15	250
Ca^{2+}(mg/l)	114.99	390.29	212.85	153.94	200
Mg^{2+}(mg/l)	55.90	132.93	83.52	42.66	150
Na^+(mg/l)	287.28	5227.88	2117.35	2715.89	200
K^+(mg/l)	6.83	12.36	9.62	2.76	12
سختی کل(TH) (mg/l $caco_3$)	548.45	1529.63	881.39	561.46	300

در این پژوهش ۱۱ پارامتر جهت کیفیت آب رودخانه آجی‌چای مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۴ خلاصه خصوصیات آماری نمونه‌های مورد بررسی را به همراه استاندارد WHO برای آب شرب نشان می‌دهد. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، مقدار حداکثر (بیشترین مقدار از بین هر سه ایستگاه در کل دوره آماری) تمامی پارامترها ومقدار حداقل (کمترین مقدار از بین هر سه ایستگاه در کل دوره آماری) تمامی پارامترها (بجز Ca^{2+}، Mg^{2+} و K^+) بیشتراز حد مطلوب WHO برای آب شرب است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت آب ایستگاه‌ها از لحاظ شرب در وضعیت مطلوبی قرار ندارد.

ارزیابی شاخص کیفیت آب

در مرحله بعد با روش آنتروپی شانون به وزن‌دهی هر یک از پارامترها پرداخته و مقدار شاخص EWQI محاسبه شد. که در جدول ۵ نتایج مقدار شاخص کیفیت آب ایستگاه‌های مورد بررسی نشان داده شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که ایستگاه‌های ارزنق و آخولا در وضعیت متوسط (100<EWQI<150) و ایستگاه مرکید در وضعیت بشدت ضعیف (EWQI>200) قرار دارد.

رتبه‌بندی ایستگاه‌ها با استفاده از روش تاپسیس

نتایج پارامترهای کیفیت آب در ایستگاه‌های مختلف حوضه آبریز آجی‌چای نشان داد که در ایستگاه مرکید تمام پارامترهای کیفیت آب (بجز پارامتر HCO_3^-) بیشتر از ایستگاه‌های دیگر می‌باشد، در عین حال، ایستگاه مرکید براساس رتبه‌بندی تاپسیس حداکثر مقدار نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل مثبت (C_i^+) (با بدترین شرایط کیفیت آب) را نشان می‌دهد در این ایستگاه مقدار فاصله از ایده‌آل مثبت (d_i^+=۰/۰۱۷) و از ایده‌آل منفی (d_i^-=۰/۱۵۱) می‌باشد، بنابراین، ادعای ما را در وضعیت کیفی آب حوضه آبریز آجی‌چای تأیید می‌کند (جدول ۶).

جدول ۵- مقادیر محاسبه شده شاخص EWQI براساس میانگین سالانه در سه ایستگاه ارزنق، آخولا و مرکید طی دوره آماری (۱۳۸۲-۱٤۰۰)

Table 5- Calculated values of EWQI index based on the annual average in three stations of Arzanag, Akhola and Marki during the statistical period (2003-2021)

ایستگاه Station	مقدار شاخص EWQI EWQI index value	وضعیت کیفیت آب Water quality status
ارزنق Arzanag	127.36	متوسط Medium
آخولا Akhola	219.67	متوسط Medium
مرکید Markid	945.92	بشدت ضعیف Extremely poor

بعد از آن رتبه دوم مربوط به ایستگاه آخولا با مقدار فاصله از ایدآل مثبت (d_i^+=۰/۱۳۶) و فاصله از ایده‌آل منفی (d_i^-=۰/۰۲۸) و همچنین ایستگاه ارزنق بیشترین فاصله از راه حل ایده‌آل (d_i^+=۰/۱۵۱) و کمترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل منفی (d_i^-=۰/۰۰۸) را داشت. بنابراین با توجه به نزدیک بودن مقدار (C_i^+) به عدد یک در ایستگاه مرکید، این ایستگاه بدترین وضعیت کیفی را در بین دو ایستگاه دیگر نشان می‌دهد. بنابراین بالاترین رتبه تاپسیس نشان دهنده آلوده‌ترین ایستگاه می‌باشد.

جدول ٦- نتایج مربوط به رتبه‌بندی ایستگاه‌ها با روش تاپسیس در حوضه آبریز آجی‌چای

Table 6- Results of ranking of the selected stations using the TOPSIS method in Aji Chai basin

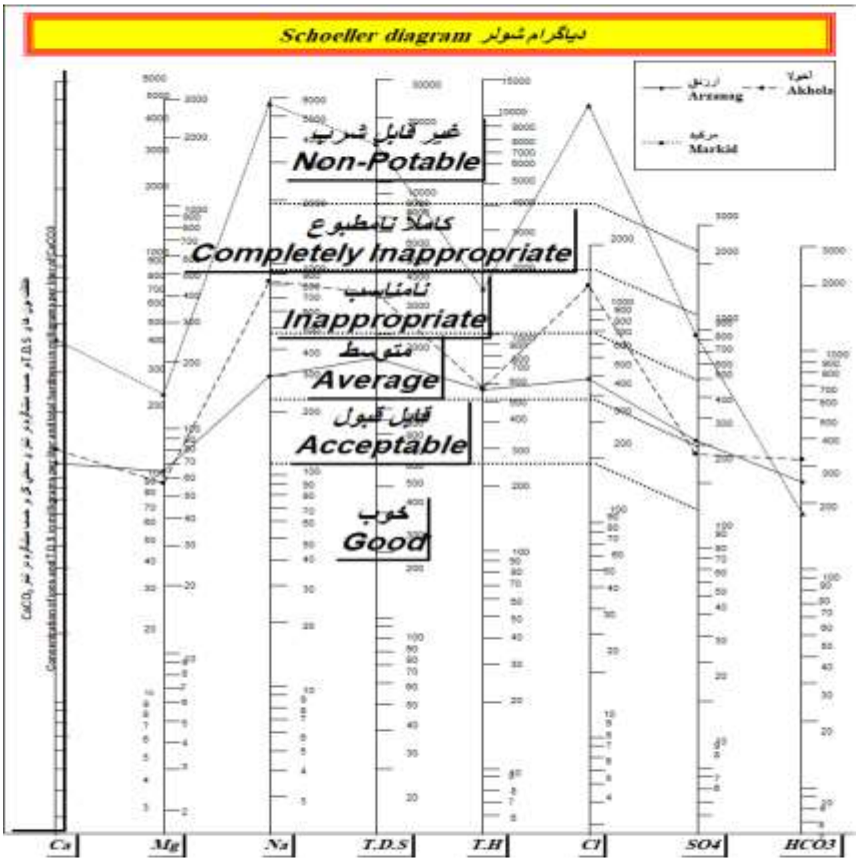
ایستگاه Station	di^+	di^-	ci^+	رتبه Rank
مرکید Markid	0.017	0.151	0.894	1
آخولا Akhola	0.136	0.028	0.171	2
ارزنق Arzanag	0.151	0.008	0.054	3

ارزیابی کیفیت آب جهت مصارف شرب با استفاده از دیاگرام شولر

نتایج کیفیت آب با استفاده از دیاگرام شولر نشان داد که ایستگاه ارزنق کمترین میزان TDS، با مقدار ۱۵۲۴/۵۴ میلی‌گرم در لیتر را دارد و در محدوده متوسط قرار دارد، ایستگاه آخولا با مقدار TDS، ۳۰۷۹/۳۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که در محدوده متوسط و بدترین وضعیت مربوط به ایستگاه مرکید است با مقدار TDS، ۱۳۷۶۲/۹۴ میلی‌گرم در لیتر و در محدوده غیر قابل شرب قرار دارد (شکل ۲).

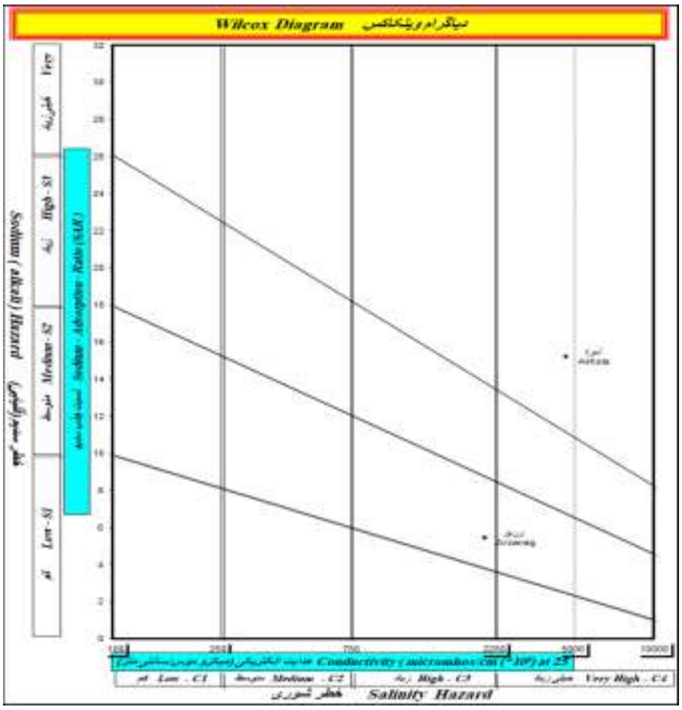
ارزیابی کیفیت آب جهت مصارف کشاورزی با استفاده از دیاگرام ویلکاکس

نتایج بررسی کیفیت شیمیایی آب ایستگاه‌های منتخب در حوضه آجی‌چای طی دوره مطالعاتی مورد بررسی به‌وسیله دیاگرام ویلکاکس نشان می‌دهد کیفیت آب ایستگاه مرکید بسیار نامناسب می‌باشد که حتی در خارج از مرزهای دیاگرام ویلکاکس قرار گرفته است. بعد از آن ایستگاه آخولا بدترین کیفیت را دارد به‌طوری‌که در محدوده کلاس C_4S_4 قرار دارد و در نهایت، آب ایستگاه ارزنق در محدوده کلاس C_4S_2 قرار دارد، که این موضوع نشان‌دهنده آب با کیفیت نامناسب (شور- برای کشاورزی نامناسب) برای آبیاری و کشاورزی در این محدوده می‌باشد (شکل ۳).



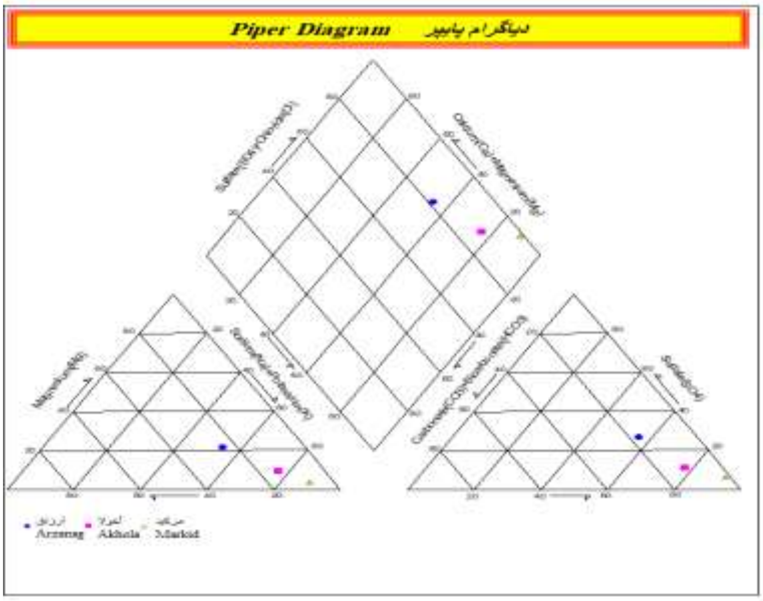
شکل ۲- دیاگرام شولر برای ایستگاه‌های ارزنق، آخولا و مرکید طی دوره آماری (۱۴۰۰-۱۳۸۲)

Figure 2- Schoeller diagram for Arzanag, Akhola and Markid stations during the statistical period (2003-2021)



شکل ۳- دیاگرام ویلکاکس برای ایستگاه‌های ارزنق، آخولا و مرکید طی دوره آماری ۱۴۰۰-۱۳۸۲

Figure 3- Wilcox diagram for Arzanag, Akhola and Markid stations in the period 2003-2021



شکل ٤- دیاگرام پایپر برای ایستگاه‌های ارزنق، آخولا و مرکید در دوره آماری (۱۴۰۰-۱۳۸۲)

Figure 4- Piper diagram for Arzanag, Akhola and Markid stations in the period 2003-2021

نتایج حاصل از بررسی نمودار پایپر

نمودار پایپر جهت مصارف صنعتی برای نمونه‌های آب مورد بررسی در حوضه رودخانه آجی‌چای بررسی و در شکل ۴ ارائه شد. براساس نمودار پایپر رخساره آب در این منطقه، کلردار و سدیک می‌باشد. جدول ۷ تیپ و رخساره آب و همچنین غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۷- تیپ و رخساره آب در سه ایستگاه ارزنق، آخولا و مرکید در دوری آماری (۱۴۰۰-۱۳۸۲)

Table 7- Type and surface of water in three stations of Arzanag, Akhola and Markid in the period 2003-2021

محل نمونه‌برداری Sampling location	غلظت آنیون‌ها Concentration of anions	غلظت کاتیون‌ها Concentration of cations	تیپ آب Water type	رخساره آب Water facies	تیپ و رخساره Type and facies	نحوه توسعه تیپ و رخساره How to develop type and facies
ارزنق Arzanag	Cl > SO4 > HCO3	Na+K > Ca > Mg	کلروره Chloride	سدیک Sodium	کلروره سدیک Sodium chloride	توسعه اساسی Basic development
آخولا Akhola	Cl > SO4 > HCO3	Na+K > Ca > Mg	کلروره Chloride	سدیک Sodium	کلروره سدیک Sodium chloride	توسعه اساسی Basic development
مرکید Markid	Cl > SO4 > HCO3	Na+K > Ca > Mg	کلروره Chloride	سدیک Sodium	کلروره سدیک Sodium chloride	توسعه اساسی Basic development

نتیجه‌گیری

بررسی کمی و کیفی منابع آبی از ارکان مهم توسعه پایدار است. با توجه به وضعیت بحرانی منابع آبی کشور استفاده از روش‌هایی که در مدیریت و اتخاذ سیاست‌های مناسب در این امر کمک نماید ضروری است. هدف این تحقیق ارزیابی کیفیت آب در حوضه آبریز آجی‌چای واقع در استان آذربایجان شرقی می‌باشد. در این راستا، روش تاپسیس که یک روش ساده و کاربردی جهت اولویت‌بندی و ارزیابی کیفی آب است، استفاده شد. در این مطالعه سه ایستگاه ارزنق مرکید و آخولا واقع در شاخه‌های مختلف رودخانه آجی‌چای از نظر کیفیت آب بررسی گردید از داده‌های مربوط به TDS، EC، pH، HCO_3، Cl^-، SO_4^{2-}، Ca^{2+}، Mg^{2+}، Na^+، K^+ و TH پارامترهای شیمیایی که از شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌شرقی اخذ شد و براساس میانگین طولانی مدت پارامترهای کیفی استفاده شد. نتایج به‌طور خلاصه به شرح زیر بود:

۱- نتایج مقدماتی درصد خطای تعادل یونی (RE%) نشان‌داد که در تمام ســال‌های دوره آماری (۱۴۰۰-۱۳۸۲) مقادیر RE% تقریبا برابر صــفر و اغلب آن‌ها مثبت بود که حاکی از بیشــتر بودن مجموع کاتیون‌ها در مقابل مجموع آنیون‌ها می‌باشد.

۲- نتایج شــاخص کیفیت آب شــانون نشـــان داد که در بین ایستگاه‌ها، بیشترین مقدار شاخص مربوط به ایستگاه مرکید با مقدار ۹۴۵/۹۲ و کمترین آن مربوط به ایســتگاه ارزنق با مقدار ۱۲۷/۳۶ می‌باشد.

۳- براساس دیاگرام شولر معلوم شد که کیفیت آب ایستگاه ارزنق از نظر شرب در حد متوسط می‌باشد که در مقایسه با دو ایستگاه دیگر از نظر کیفی در جایگاه مناسب قرار دارد، ضمن اینکه آب ایستگاه آخولا از این نظر در محدوده کیفیت نامناسب قرار داشته است، اما آب مرکید غیر قابل شرب تشخیص داده شد که در بین سه ایستگاه بدترین جایگاه را به خود اختصاص داد.

۴- براساس دیاگرام ویلکاکس معلوم شد که کیفیت آب مرکید از نظر کشاورزی بسیار نامناسب می‌باشد که حتی در خارج از مرزهای دیاگرام ویلکاکس قرار می‌گیرد و طبق نتایج روش تاپسیس رتبه ۱ را از نظر آلودگی به خود اختصاص داده است بنابراین کیفیت آب این ایستگاه نسبت به دو ایستگاه دیگر نامناسب‌تر است ضمن اینکه آب ایستگاه ارزنق از نظر آلودگی رتبه ۳ قرار داشت که از نظر کیفی دارای آب در کلاس C_4S_2 واقع شد. در نهایت آب ایستگاه آخولا در دیاگرام ویلکاکس در کلاس C_4S_4 قرارداشت که کیفیت بسیار نامناسب آب را نشان می‌دهد.

۵- براساس روش تاپسیس اولویت اول از نظر آلودگی آب متعلق به ایستگاه مرکید به دو ایستگاه دیگر شامل آخولا و ارزنق در رتبه‌های ۲ و ۳ از نظر آلودگی قرار داشتند.

به‌طور کلی، براساس نمودار شولر و ویلکاکس و شاخص کیفیت آب می‌توان کیفیت آب حوضه مطالعاتی را نامناسب برای شرب و کشاورزی عنوان کرد. به‌طوری‌که ایستگاه مرکید نسبت به دو ایستگاه دیگر وضعیت نامناسب‌تری دارد و طبق روش تاپسیس هم این ایستگاه رتبه اول را به خود اختصاص داد. یافته‌های این مطالعه با درنظر گرفتن محدودیت‌های مطالعه مانند وجود داده‌های گم‌شده و بازسازی آن‌ها باید با احتیاط استفاده شود. بهتر است با افزایش دوره آماری این مطالعه هر ۵ سال یکبار تکرار و نتایج با یافته‌های همین مطالعه مقایسه شود. ضمناً نتایج با لحاظ کردن پارامترهای کیفی منتخب حاصل شده است و مسلم است که وجود دیگر پارامترها مانند نیترات، آرسنیک، بور، جیوه، فلزات سنگین نیز می‌تواند نتایج را تاحدودی تحت تأثیر قرار دهد که در این مطالعه به‌دلیل عدم دسترسی به آن‌ها استفاده نشد. بنابراین،

نتایج بدست آمده از این مطالعه تأکید داشت روش تاپسیس، روشی کارآمد به منظور تحلیل و رتبه‌بندی ایستگاه‌ها از نظر آلودگی کیفی آب سطحی بوده است، همچنین مطالعات مظاهری کوهستانی و همکاران (Mazaheri Kohanestani *et al.*, 2013)، قربانی و همکاران (Ghorbani Mooselu *et al.*, 2020)، ساین و همکاران (Singh *et al.*, 2022) و دز (Das, 2023a & Das, 2023b) نیز اهمیت و کارایی روش تاپسیس را در شناسایی ایستگاه‌های آلوده تأیید کردند. پیشنهاد می‌شود سایر ایستگاه‌های این حوضه نیز در ادامه همین مطالعه بررسی شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌شرقی در راستای تهیه داده های مورد نیاز این پژوهش تشکر و قدردانی بعمل می‌آید. ضمناً از داوران محترم که با ارائه نکات ارزنده موجب ارتقاء کیفیت این مقاله گردیده‌اند سپاسگزاری می‌نماید.

References

1. Alavi, N., Zaree, E., Hassani, M., Babaei, A.A., Goudarzi, G., Yari, A.R., & Mohammadi, M.J. (2016). Water quality assessment and zoning analysis of Dez eastern aquifer by Schuler and Wilcox diagrams and GIS. *Desalination and Water Treatment*, *57*(50), 23686-23697. http://doi.org/10.1080/19443994.2015.1137786
2. Amiri, V., Rezaei, M., & Sohrabi, N. (2014). Groundwater quality assessment using entropy weighted water quality index (EWQI) in Lenjanat, Iran. *Environmental Earth Sciences*, *72*, 3479-3490. http://doi.org/10.1007/s12665-014-3255-0
3. Aouiti, S., Hamzaoui Azaza, F., El Melki, F., Hamdi, M., Celico, F., & Zammouri, M. (2021). Groundwater quality assessment for different uses using various water quality indices in semi-arid region of central Tunisia. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*, 46669-46691.
4. Asadi, E., & Bayat, F. (2019). Evaluation of the quality of groundwater resources in Zanjan plain using EWQI and TOPSIS methods. *Environmental Sciences*, *17*(1), 41-56. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/envs.17.1.41
5. Awasthi, A., Rishi, M.S., Khosla, A., & Panjgotra, S. (2023). Geographic information system-based groundwater quality assessment for drinking and irrigation purposes in transboundary aquifers of River Ravi, India. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(12), 34536-34552.
6. Azish, S., Asareh, A., & Khodadadi Dehkordi, D. (2019). Effect of drought on the water quality and quantity of Dez river. *Iran-Water Resources Research*, *15*(2), 306-318. (In Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1398.15.2.23.2
7. Behzadian, M., Otaghsara, S.K., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, *39*(17), 13051-13069. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056
8. Bhushan, M., Praveen, K., Kumar, K., & Roy, L.B. (2023). Assessment of groundwater quality for irrigation purpose in Badua-Chandan sub-basin in Bihar-a case study. *Annals of Forest Research*, *66*(1), 1871-1882.
9. Das, A. (2023 a). Identification of Surface Water Contamination Zones and its Sources on Mahanadi River, Odisha Using Entropy-Based WQI and MCDM Techniques. *Engineering Research Transcripts*, *4*, 67-92. https://doi.org/10.55084/grinrey/ERT/978-81-964105-1-3_5
10. Das, A. (2023 b). Anthropogenic Effects on Surface Water Quality Assessment in Baitarani River Basin, Odisha Using GIS and MCDM Techniques. *Engineering Research Transcripts*, *5*, 37-64. https://doi.org/10.55084/grinrey/ERT/978-81-964105-3-7_4
11. Derdour, A., Mahamat Ali, M. M., & Chabane Sari, S. M. (2020). Evaluation of the quality of groundwater for its appropriateness for drinking purposes in the watershed of Naâma, SW of Algeria, by using water quality index (WQI). *SN Applied Sciences*, *2*(12), 1951.
12. Fallah M, Pirali Zefrehei A, Hedayati S. Evaluation of water quality of the Anzali international wetland using TOPSIS method. ijhe 2018; 11 (2) :225-236 (In Persian).
13. Fatima, S. U., Khan, M. A., Siddiqui, F., Mahmood, N., Salman, N., Alamgir, A., & Shaukat, S. S. (2022). Geospatial assessment of water quality using principal components analysis (PCA) and water quality index (WQI) in Basho Valley, Gilgit Baltistan (Northern Areas of Pakistan). *Environmental Monitoring and Assessment*, *194*(3), 151. http://dx.doi.org/10.1007/s10661-022-09845-5
14. Galik, A., Bąk, M., Bałandynowicz-Panfil, K., & Cirella, G. T. (2022). Evaluating labour market flexibility using the TOPSIS method: Sustainable Industrial Relations. *Sustainability*, *14*(1), 526. https://doi.org/10.3390/su14010526
15. Ghorbani Mooselu, M., Liltved, H., Nikoo, M.R., Hindar, A., & Meland, S. (2020). Assessing optimal water quality monitoring network in road construction using integrated information-theoretic techniques. *Journal of Hydrology*, *589*, 125366. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125366
16. Goudarzi, M.R., Abedi, M.J., Niknam, A.R.R., & Heydaripour, M. (2022). Groundwater quality status based on a modification of water quality index in an arid area, Iran. *Water Supply*, *22*(7), 6245-6261.

https://doi.org/10.3390/w15101876
17. Hwang, C.L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. *Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey*, 58-191.
18. Isazadeh, M., Fakheri Fard, A., & darbandi, S. (2023). Study of the development of greenhouse estates and its impact on groundwater levels of Ajichay Basin aquifers using SWAT model. *Hydrogeology*, *7*(2), 15-29. (In Persian with English abestract). https://doi.org/10.22034/HYDRO.2023.13880
19. Jafari, N. (2019). *Investigating the stability of Gamasiab basin using sustainability indicators with a multi-criteria decision-making approach*. Master's thesis. Water group. Agriculture and Natural Resources Campus. Faculty of Agricultural Sciences and Engineering. Razi University. (In Persian with English abstract)
20. Khan, M., Almazah, M.M., EIlahi, A., Niaz, R., Al-Rezami, A. Y., & Zaman, B. (2023). Spatial interpolation of water quality index based on Ordinary kriging and Universal kriging. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, *14*(1), 2190853. https://doi.org/10.1080/19475705.2023.2190853
21. Li, P., Wu, J., & Qian, H. (2012). Groundwater quality assessment based on rough sets attribute reduction and TOPSIS method in a semi-arid area, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, *184(8)*, 4841-4854. https://doi.org/10.1007/s10661-011-2306-1
22. Manu, E., De Lucia, M., & Kühn, M. (2023). Hydrochemical characterization of surface water and groundwater in the crystalline basement aquifer system in the Pra Basin (Ghana). *Water*, *15*(7), 1325. https://doi.org/10.3390/w15071325
23. Mazaheri Kohanestani, Z., Ghorbani, R., & Fazel, A. (2013). Evaluation of water quality using TOPSIS method in the Zaringol Stream (Golestan Province, Iran). *International Journal of Aquatic Biology*, *1*(5), 202-208. https://doi.org/10.22034/ijab.v1i5.148
24. Meshram, S. G., Alvandi, E., Meshram, C., Kahya, E., & Fadhil Al-Quraishi, A. M. (2020). Application of SAW and TOPSIS in prioritizing watersheds. *Water Resources Management*, *34*, 715-732. 10.1007/s11269-019-02470-x
25. Mirbolooki, H., Razdar, B., & Mohafezatkar, M. (2021). Investigation of Gilan index dams' water quality using multivariate methods. Journal of environmental Research and Technology, 5(8), 25-35 (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.29252/.5.8.25
26. Ortega, R.G., Vázquez, M.L., Figueiredo, J.A.S., & Guijarro-Rodriguez, A. (2018). Sinos river basin social-environmental prospective assessment of water quality management using fuzzy cognitive maps and neutrosophic AHP-TOPSIS. *Neutrosophic Sets and Systems*, *23*, 160-171.
27. Rouhani, H., Zaki, E., Kashani, M., & Fathabadil, A. (2015). Evaluatation of stability of supface water quality variation in Gorganrood river basin. *Iranian Journal of Ecohydrology*, *2*(2), 129-140. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ije.2015.56143
28. Sanikhani, H., Dinpashoh, Y., Pour Yusef, S., Zamanzad Ghavidel, S., & Solati, B. (2014). The impacts of climate change on runoff in watersheds (Case study: Ajichay watershed in East Azerbaijan Province, Iran). *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)*, *27*(6), 1225-1234. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.21513
29. Sarikhani, R., Ghassemi Dehnavi, A., Ahmadnejad, Z., & Kalantari, N. (2015). Hydrochemical characteristics and groundwater quality assessment in Bushehr Province, SW Iran. *Environmental Earth Sciences*, *74*, 6265-6281. http://doi.org/10.1007/s12665-015-4651-9
30. Shannon, C. (1988). A mathematical theory of communication, *Bell System Technology Journal*, *27*, 379-423.
31. Singh, K.R., Dutta, R., Kalamdhad, A.S., & Kumar, B. (2022). Study of physicochemical parameters and wetland water quality assessment by using Shannon’s entropy. *Applied Water Science*, *12*(11), 247. http://doi.org/10.1007/s13201-022-01759-4
32. Sippi, S., & Parmar, D. (2022). Water-quality-based ranking and benchmarking of rivers in india using a multicriteria decision-making technique. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, *26*(2), 05021008.
33. Sohrabizadeh, Z., Sharifi Moghadam, E., & Hakimzadeh, M. A. (2018). Trend changes analysis of the water quality in the Talar river watershed using the Man-Kendall (MK) test. *Natural Ecosystems of Iran*, *9*(3), 1-20. (In Persian with English abstract).
34. Srdjevic, B., Medeiros, Y.D.P., & Faria, A.S. (2004). An objective multi-criteria evaluation of water management scenarios. *Water Resources Management*, *18*, 35-54.
35. Ukah, B.U., Ameh, P.D., Egbueri, J.C., Unigwe, C.O., & Ubido, O.E. (2020). Impact of effluent-derived heavy metals on the groundwater quality in Ajao industrial area, Nigeria: an assessment using entropy water quality index (EWQI). *International Journal of Energy and Water Resources*, *4*(3), 231-244. http://doi.org/10.1007/s42108-020-00058-5
36. WHO. (2011). *Guidelines for drinking–water quality*-4th ed. Geneva World Health Organization. p 564.
37. Zamani Ahmad Mahmoudi, R., Fathi, A., Bayati, S., & Akbari, Z. (2023). Water quality assessment of rivers in Behesht Abad watershed using different methods (emphasis on irrigation). *Journal of Environment and Transsectoral Development*, *7*(75), 29-39. (In Persian). https://doi.org/10.22034/jewe.2018.105969.1200
38. Zarei, H., Fathi, M.R., Karimi Zarchi, M., & Azizollahi, S. (2011**)**. The application of fuzzy TOPSIS approach to

personnel selection for Padir company: Iran, *Journal of Management Research, 2*, 3. https://dpo.org/10.5296/jmr.v3i2.663

39. Zhang, Q., Xu, P., & Qian, H. (2020). Groundwater quality assessment using improved water quality index (WQI) and human health risk (HHR) evaluation in a semi-arid region of northwest China. *Exposure and Health*, *12*, 487-500. https://link.springer.com/article/10.1007/s12403-020-00345-w